

直流电桥烟叶水分快速测量仪的研制^{***}

卢贤继 吴文福 张书慧 胡晓敏
(吉林工业大学) (吉林省农机公司)

高波
(黑龙江省农副产品加工机械化研究所)

提 要 主要讨论采用直流电桥快速测量烟叶水分的一些关键问题,如电桥的选择、测量部位的选择、电容效应的抑制等问题,在此基础上研制出直流电桥烟叶水分快速测量仪。实验结果表明,使用该仪器测量烟叶水分所需时间约15s,测量范围8%~25%(湿基水分),测量精度为 $\pm 0.6\%$,可满足烟叶收购时的要求,亦可用于烟叶烘烤时的水分测量。

关键词 直流电桥 水分测量仪 烟叶 水分测量

Study on Instrument for Fast Measure Moisture Content of Tobacco Leaves

Lu Xian-ji Wu Wen-fu Zhang Shu-hui Hu Xiao-min
(Jilin University of Technology, Changchun) (Agricultural Machinery Company of Jilin Province)
Gao Bo

(Agricultural and Sideline Product Processing Machinery Research Institute of Heilongjiang Province)

Abstract For fast measuring moisture content of tobacco leaves by DC-bridges, there are some key factors, i. e., selecting bridge type and position of probe, reducing capacitance influence and non-linearity on affecting the accuracy. In this paper, the factors are discussed and an instrument for fast measure moisture content of tobacco leaves is studied and developed by DC-bridges. The results of experiments and application show that the instrument needs about 15 seconds for measuring moisture content of tobacco leaves, its measuring range is 8%~25% (humid group), measuring accuracy is $-0.6\% \sim 0.6\%$. It can meet the demands for measuring moisture content during purchasing and drying of tobacco leaves.

Key words DC-bridge Moisture content measure instrument Tobacco leaf Moisture content measurement

1 引 言

烟叶是重要的经济作物。收购烟叶时,如烟叶水分超过18%(湿基(下同)),在收购后的储存期间,烟叶会发霉变质;而烟叶水分如低于16%,在烟叶打包、装车及运输过程中,又

* 收稿日期:1995-11-28

** 卢贤继,副教授,长春市斯大林大街114号 吉林工业大学农机系,130025

会因破碎而造成很大的损失。因此收购烟叶时,必须保证烟叶的水分在 16%至 18%之间。烟叶长期储存,要求其水分在 13%以下。目前收购烟叶时,烟叶水分的多少大都由收购者凭经验来判定,误差较大。采用直流电桥烟叶水分快速测量仪,可以较好地解决这一问题。

2 直流电桥烟叶水分快速测量仪的研制

图 1 为直流电桥烟叶水分快速测量仪的硬件示意图。该仪器利用两根定距 ($l = 10\text{mm}$) 不锈钢探针作为测量探头,通过电桥以及放大器将烟叶的直流电阻变化转化为模拟电压信号。模数转换器 ($3\frac{1}{2}$ 位) 将模拟信号转换为数字信号并送入单片机 8031CPU,8031CPU 又将数字信号经零点校正、非线性校正及温度校正后送到数码显示器显示,显示值即为所测烟叶的水分。

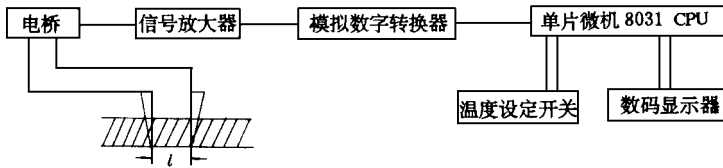


图 1 直流电桥烟叶水分快速测量仪示意图

2.1 测量部位的选择

测量烟叶水分时,测量部位的选择直接影响测量所需时间和测量的精度。如采用将烟叶粉碎到一定粒度,或制成标准形状、标准质量样品的办法,虽可提高测量精度,但会延长测量时间,达不到快速的目的。为了选择合理的测量部位,我们利用标准烘干法对烟叶各部分的水分进行了测量。测量结果如表 1 所示。从表 1 可以看出烟叶叶茎与叶片水分的最大差异值为 0.8%,也就是说一片烟叶上不同部位的水分是相近的,可以用测量烟叶叶茎处的水分代表整片烟叶的水分。

图 2 是探针距离为 10 mm 时,烟叶叶茎的直径 D 与测量直流电阻的关系曲线。从图中可以看出,随着叶茎直径 D 的增加,叶茎直流电阻 R 下降,其变化规律可用回归方程式表示^[1]

$$R = 1.79 \cdot D^{-0.49} \quad (1)$$

从图 2 还可以看出,当烟叶叶茎的直径 $D \geq 5$ mm 时,电阻 R 的值基本趋于稳定。因此,我们把测量烟叶水分时的测量部位定在烟叶叶茎直径为 5 mm 左右的部位上。在测量时叶茎直径的大小可通过与标准孔的比较确定。

2.2 测量电桥的选择与电容效应的抑制

表 1 叶片与叶茎的水分差异

实验组	1	2	3	4
叶片水分	15.5%	18.1%	22.2%	24.3%
叶茎水分	16.3%	18.4%	21.6%	23.8%

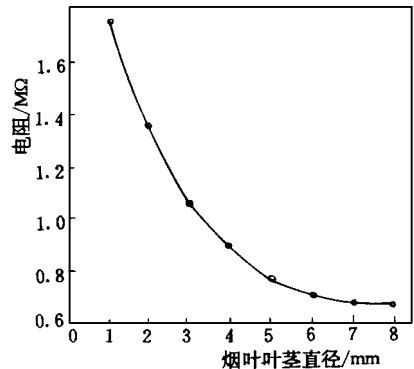
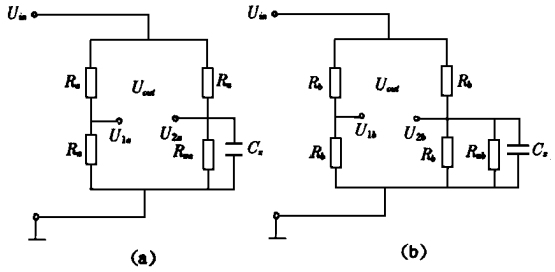


图 2 烟叶叶茎电阻与其直径的关系

图 3(a)和(b)是两种直流电桥,由于测量探头之间的直流电压,使烟叶叶茎中水分子等无机分子极化,产生电容 C_x ,引起电容效应,相比而言,导线和测量探头之间的分布电容引起的电容效应很小,这里忽略。 C_x 的存在将延长测量时间。



对于直流电桥(a)有

$$U_2 = \frac{1}{C_x} i_x \cdot dx \quad \text{图 3 两种直流电桥} \quad (2)$$

由电路原理^[2]可得

$$U_2 = \frac{R_{xa}}{R + R_{xa}} \cdot U_{in}(1 - e^{-t/a}) \quad (3)$$

式中

$$a = \frac{R_a R_{xa}}{R_a + R_{xa}} \cdot C_x$$

同理,对于直流电桥(b)有

$$U_{2b} = \frac{1}{C_x} (i_x + i_R) dx \quad (4)$$

由电路原理^[2]可得

$$U_{2b} = \frac{R_{xb}}{R_b + 2 R_{xb}} \cdot U_{in}(1 - e^{-t/b}) \quad (5)$$

式中

$$b = \frac{R_b R_{xb}}{R_b + 2 R_{xb}} \cdot C_x$$

式(2)至式(5)中各符号的意义见图3。

式(3)和式(5)中的 a 和 b 称为电容效应时间常数, 值越大,电容效应抑制越小。如果 R 、 R_x 、 C_x 取值相同, $a > b$ 。此处需注意的,考虑电桥的平衡和电桥输出电压的线性,电桥(a)的 R_a 值受 R_{xa} 值的限制,两者应尽量相近,电桥(b)不受此限制。因此电桥(b)的电容效应时间常数 b 可以比电桥(a)的 a 小得多。如取 $R_{xa} = R_{xb} = 3 \text{ M}$, $R_a = 3 \text{ M}$, $R_b = 0.1 \text{ M}$, 容易获得稳定输出电压。则: $a/b = \frac{3 \times 3}{3 + 3} C_x / \frac{3 \times 0.1}{0.1 + 2 \times 3} \cdot C_x \approx 30$ 。因此电桥(b)相对电桥(a)来说电容效应抑制了许多。

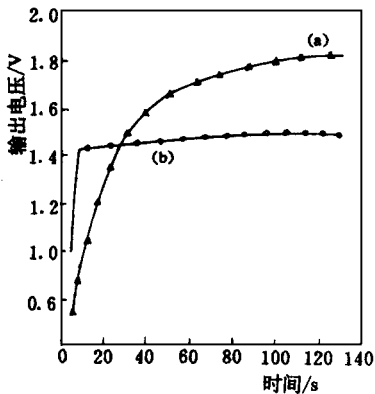


图 4 两种直流电桥的电容效应

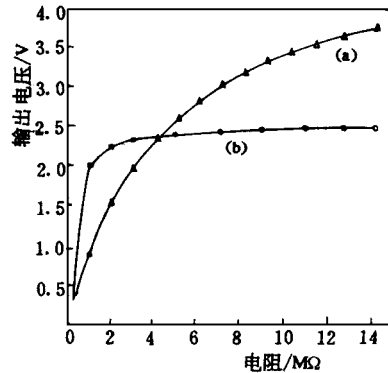


图 5 由两种直流电桥引起的非线性

图 4 中的曲线 (a) 和 (b) 描绘了利用电桥 (a) 和电桥 (b) 测量烟叶水分时输出电压与时间的变化关系。对于电桥 (a) 要几分钟才能获得较稳定的输出电压, 而电桥 (b) 在 15 s 内输出电压已基本稳定。

2.3 测量结果的非线性及校正

造成测量结果非线性的原因有以下两方面, 一是由于测量电阻的变化范围大引起直流电桥不平衡; 二是由于烟叶叶茎直流电阻与水分间固有的非线性关系。

2.3.1 电桥非线性

若取 $R_a = R_b = 4.7 M$, 烟叶叶茎直流电阻变化范围在 $14M$ 以内, 电桥 (a)、(b) 引起的非线性变化曲线示于图 5。由图中可以看出直流电桥 (b) 的非线性比直流电桥 (a) 严重得多。换言之, 就是电桥 (a) 的线性较好。

2.3.2 烟叶叶茎直流电阻与水分的非线性

图 6 反映了烟叶叶茎直流电阻与水分的非线性关系。从图中可以看出水分在 8% ~ 25% 之间时两者线性关系较好, 超出此范围非线性加重。图 6 曲线的回归方程为

$$y = 19.50 - 69.705 x \quad (6)$$

2.3.3 非线性校正

由于电桥 (a) 的电容效应严重, 不易实现快速测量。采用电桥 (b) 电容效应得以较好地抑制, 但非线性加重。为此, 采用了 8031 单片机, 在其只读存储器 (EPROM) 中存储测量电压值与相应水分值, 工作时将现场测量值按查表法查出相应水分值, 然后送到数码显示器显示。考虑到电压值和对应的水分值受温度的影响, 在只读存储器中存有三组数据, 分别对应温度为 0 ~ 15、15 ~ 22、22 ~ 30, 工作时通过温度设定开关进行选择。

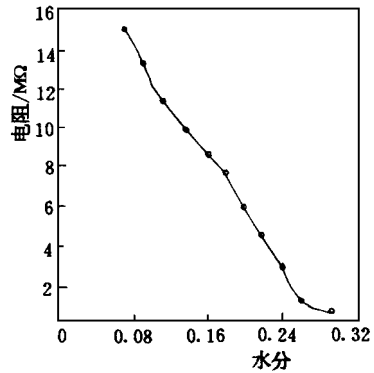


图 6 烟叶直流电阻与水分非线性关系

3 直流电桥烟叶水分快速测量仪的实验研究

3.1 试验方法和过程

取一定质量的烟叶将其分成 8 份, 分别加湿, 使其质量分别增加 0%、2%、4%、6%、8%、10%、12%、14% 左右。然后将 8 份烟叶置于塑料袋中密封、编号后放于干燥器内, 放置 48 h。48 h 后, 将放置在干燥器内的烟叶取出一部分, 用直流电桥烟叶水分快速测量仪测量其水分。每份样品测量 5 次, 其值分别记为 A_{i1} 、 A_{i2} 、 A_{i3} 、 A_{i4} 、 A_{i5} , 其中 $i = 1, 2, \dots, 8$ 。然后用下面的公式计算水分的均值 \bar{x}_i 和方差 S_i 。

$$\bar{x}_i = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 A_{ij} \quad S_i = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 (A_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad (7)$$

式中 $i = 1, 2, \dots, 8^{[3]}$ 。

取 8 个铝制小盒, 洗净后放入 100 的烘箱内, 烘干 2 h 后取出、称重、记录质量值 B_i ($i = 1, 2, \dots, 8$, 下同)、编号; 从前述 8 份烟叶中各取一部分烟叶放入对应编号的铝盒中, 称重

并记录其质量值 C_i 。将装有烟叶的铝盒置于 100 的烘箱内,按有关测定烟叶水分标准烘干若干小时后取出放入干燥器内,半小时后从干燥器内取出称重,记录其质量值 D_i 。按下式计算各铝盒中烟叶的水分。

$$\overline{X}_i = (C_i - D_i) / (C_i - B_i) \quad (8)$$

3.2 实验结果及分析

实验在 15 和 25 两种温度条件下进行,取得两组实验结果,限于篇幅只列出 15 一组两种测量方法的结果对比(表 2)。表中, \overline{X} 为用直流电桥烟叶水分快速测量仪测得的水分; \overline{X}' 为用标准烘干法测得的对应样品的的水分。两组表中的数据均表明, \overline{X} 与 \overline{X}' 两者的最大差异值为 $\pm 0.6\%$ 。

表 2 两种测量方法实验结果对比(15)

(单位: %)

编号	B	C	D	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	\overline{X}	S	\overline{X}'	最大偏差
1	12.29	16.71	16.22	11.8	12.0	11.5	11.1	12.2	11.72	0.38	11.2	1.1
2	11.98	16.87	16.24	13.0	13.4	12.3	12.3	13.2	12.80	0.41	12.9	1.1
3	12.31	17.20	16.45	15.6	14.4	14.8	14.7	15.3	14.9	0.40	15.4	1.2
4	12.26	16.75	15.98	16.3	17.3	17.6	17.0	16.8	17.0	0.38	17.1	1.2
5	12.16	16.83	15.95	19.3	18.5	18.7	19.2	19.6	19.1	0.40	18.8	1.1
6	12.23	16.54	15.61	20.5	21.3	20.7	21.6	21.0	21.0	0.39	21.5	1.1
7	12.08	17.15	15.97	23.4	23.5	24.5	23.3	24.1	23.8	0.46	23.3	1.2
8	12.31	17.06	15.88	24.3	24.9	24.2	25.1	24.5	24.6	0.39	24.7	0.9

4 结 论

1) 实验和理论分析都表明,直流电桥烟叶水分快速测量仪采用直流电桥(b)可以有效地抑制测量过程中的电容效应,实现快速测量。利用单片机通过查表法可以校正非线性,实现温度补偿和零点校正。

2) 实验和现场使用表明,该仪器操作方便,其测量烟叶水分的范围为 8% ~ 25%,精度为 $\pm 0.6\%$,测量稳定时间为 15s,可以满足烟叶收购时的要求,亦可用于烟叶烘烤时的水分测量,并且结构简单、价格便宜。

本仪器所采用的原理可应用于相近物料水分的快速测量。

参 考 文 献

- 1 赵学笃等著. 物料学. 北京:机械工业出版社,1987. 116~117
- 2 王化祥、张淑英著. 传感器原理及其应用. 天津大学出版社,1991. 45~106
- 3 浙江大学数学系高等教育教研组著. 概率论与数理统计. 北京:人民教育出版社,1982. 101~114